



УДК 504:054(479.22)

<https://doi.org/10.31713/vs120191>

Клименко М. О., д.с.-г.н., професор, Бєдункова О. О., д.б.н., доцент, Статник І. І., к.с.-г.н., доцент (Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне)

ДИНАМІКА САМООЧИСНОЇ ЗДАТНОСТІ ПОВЕРХНЕВИХ ВОД РІЧКИ УСТЯ

Наведено результати аналізу самоочисної здатності поверхневих вод малої р. Устя. Виявлено, що впродовж 2009–2018 рр. вздовж усього русла річка позбавлена самоочищення від сполук азоту. У верхній та середній течії ускладнюються умови позбавлення поверхневих вод від фосфатів та органічних речовин, а в нижній течії – від цинку. З'ясовано, що найгірші умови самоочищення у верхній та середній течії річка мала в 2010 р., а в нижній – у 2018 р. Зроблено висновок про необхідність запровадження програми робіт з усунення джерел забруднення річки.

Ключові слова: самоочисна здатність, показники, забруднюючі речовини.

Очисна здатність водойм – явище унікальне і досить складне, оскільки ґрунтується на взаємодії гідрологічних, фізичних, біологічних і хімічних механізмів, спрямованих на звільнення екосистеми від продуктів метаболізму, відмирання тварин і рослин, а також забруднень, які надходять з антропогенних джерел [1; 2].

Інтенсивність процесу залежить від обсягу води і дії чинників перемішування водних мас (течія і вітер), кількості сонячної радіації і суми активних температур [3]. Значною мірою, самоочищення водойм залежить від географічного положення, морфометрії та геологічних умов [4].

До фізичних факторів самоочищення належить, насамперед, седиментація – осадження нерозчинених органічних (відмерлі організми, фекалії, злущений епітелій, слиз) і мінеральних речовин (частинки піску, глини, мулу, вапняків, солей металів тощо).

У процесах біологічного самоочищення водойм виділяються дві фази: анаеробна і аеробна. Анаеробна фаза характеризується утворенням проміжних продуктів з органічного матеріалу, які зазнають гниття, переважно, за рахунок життєдіяльності бактерій і деяких найпростіших. В аеробних умовах у розкладі органічної речовини бере участь велика кількість різноманітних груп гідробіонтів, перш за

все, інфузорії, коловертки, водорості та інші організми планктону, нектону та бентосу [5].

Вищі рослини активно поглинають із води азот і фосфор, вибірково калій, залізо, хлор і марганець, що особливо інтенсивно відбувається в період їх посиленого зростання і розвитку [6].

Хімічні процеси самоочищення, що протікають у водоймах, міцно пов'язані з біологічними та реалізуються у вигляді механізмів позбавлення організмів від чужорідних речовин (біотрансформації).

Це забезпечують реакції окислення, відновлення і гідролізу, що мають місце при загальному обміні речовин організмів. Згодом, хімічно активні групи чужорідних молекул виявляються пов'язаними з молекулами організму або зруйнованими під дією їх ферментів. Так підвищується водорозчинність токсичних елементів, що і сприяє їх переходу в нетоксичні форми [7].

Напрямок та швидкість хімічних і біохімічних процесів визначає величина окисно-відновного потенціалу природних вод, яка залежить від концентрації кисню [8].

Концентрація розчиненого у воді кисню на рівні 5 мг/дм³ вважається мінімально необхідною аби запобігати негативним наслідкам процесів денітрифікації та сірководневого бродіння в водоймі. До того ж, це забезпечує водорозчинність органічних речовин донних відкладень, підвищення рухливості заліза, марганцю та інших елементів. Іншими словами, вміст кисню у воді відображує біологічну активність водного середовища [9].

Отже, розглянуті механізми мають велике значення в загальному кругообігу речовин у водних екосистемах, трансформації та перетворенні різних за походженням елементів, їх міграції та розподілу, що в сукупності становить надзвичайно важливий природний процес - самоочищення води.

Такі дослідження проводяться в період весняного паводку, коли умови для самоочищення найбільш сприятливі, а також у період зимової та літньої межені за найбільш несприятливих умов. Особливо важливим є період межені.

Метою наших досліджень була оцінка самоочисної здатності малої р. Устя, яка протікає по території Рівненського району Рівненської області, зазнаючи значного рівня антропогенного навантаження, що особливо гостро проявляється в межах скидів недостатньо очищених комунально-побутових стічних вод.

Відповідно мети було поставлено завдання розрахувати сумарний коефіцієнт швидкості самоочищення (K) та власне самоочищувальну здатність води річки (CЗ, %) на ділянках між витокom річки поб-

лизу с. Івачків здолбунівського району та очисними спорудами м. Рівне (в межах міста, 0,3 км нижче скиду) та від м. Рівне до гирлової частини річки в межах смт Оржів (рис. 1). Загальна відстань за фарватером річки між першим та третім створами (l) становить 6 тис. м, середня швидкість течії річки в середньому 0,05 м/с.

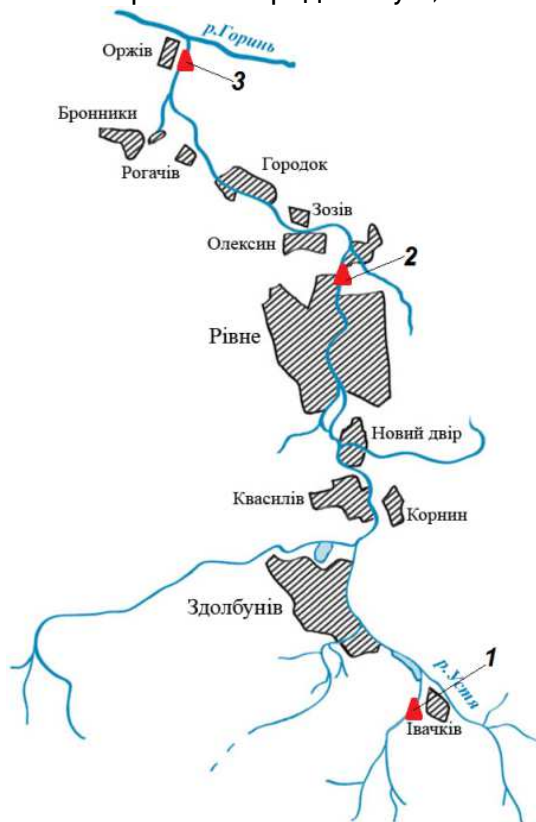


Рис. 1. Карто-схема розміщення створів на ділянках р. Устя, для яких проводився аналіз самоочисної здатності

Розрахунки проводили за формулами [10]:

$$K = \frac{2,3}{\tau} \lg \frac{C_o}{C_\tau}, \quad (1)$$

K – сумарний коефіцієнт швидкості самоочищення (год^{-1} , дб^{-1}) для окремих речовин, що скидаються зі стічними водами; τ – час проходження води між створами, год., дб; C_o – вихідна концентрація речовини в початковому створі ділянки, мг/л; C_τ – концентрація речовини в кінцевому створі ділянки через час τ , мг/л.

$$\tau = l / 86400 \cdot V_{\text{ср}}, \quad (2)$$

l – відстань за фарватером річки між створами спостережень, м; середня швидкість течії води на ділянці річки між створами спостере-

жень, м/с; 86400 – число секунд у добі.

$$CЗ = \left[(C_0 - C_r) / C_0 \right] \cdot 100, \quad (3)$$

СЗ – самоочищувальна здатність води на ділянці річки, %.

При проведенні розрахунків використовували данні гіdroхімічного аналізу води р. Устя, отримані відділом аналітичного контролю якості поверхневих вод Рівненської обласної екологічної інспекції за 2009-2011 рр. (за період до скорочення програми державного моніторингу) та дані гіdroхімічного аналізу води річки, що проводився гіdroхімічною лабораторією кафедри водопостачання, водовідведення та бурової справи НУВГП у 2018 р. Для кожного року аналізували самоочищувальну здатність річки окремо за 13 гіdroхімічними параметрами, які визнані основними показниками якості поверхневих вод річок в межах сольового (сульфати, хлориди) трофо-сапробіологічного (амоній сольовий, нітрати, нітрити, ХСК, БСК₅, фосфати) та токсикологічного (залізо, мідь, цинк, марганець, фториди) блоків.

Графічне представлення отриманих розрахунків проводили за допомогою програмного пакету *Microsoft Excel 2010*. Математичний аналіз статистичних параметрів проводили за допомогою програми *Statistica 8.0*.

Так, у 2009 р., СЗ між створом №1 (витік р. Устя) та створом №2 (в межах м.Рівне, після скидів стічних вод «Рівнеоблводоканал») поза межами прояву самоочищення виявились БСК₅(-20031,58), сульфати (-1,80), фосфати (-69,57) та фториди (-85,71), про що свідчать від'ємні значення розрахованих параметрів (рис. 2).

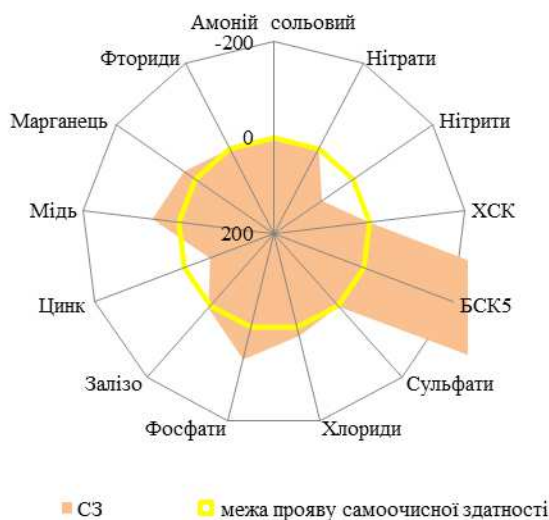


Рис. 2. Діаграма прояву самоочищувальної здатності р. Устя після впливу комунально-побутових стічних вод (між ств. 1-2) у 2009 р.

У цьому ж році, між створом № 2 та створом № 3 поза межами прояву самоочищення виявились нітрити ($C_3=-16,0$), фосфати ($-29,91$) та цинк ($-11,11$) (рис. 3).

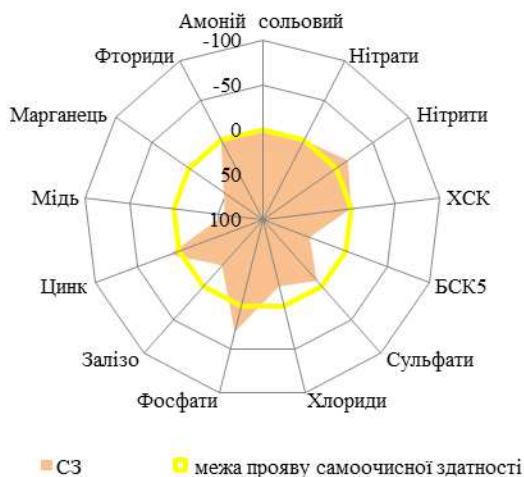


Рис. 3. Діаграма прояву самоочищення річки Устя після впливу комунально-побутових стічних вод (між ств. 2-3) у 2009 р.

У 2010 р., C_3 між створом № 1 та створом № 2 поза межами прояву самоочищення виявились нітрити, БСК₅, сульфати, хлориди, фосфати та марганець (рис. 4).



Рис. 4. Діаграма прояву самоочищення річки Устя після впливу комунально-побутових стічних вод (між ств. 1-2) у 2010 р.

Таким чином у 2009 р., СЗ між створом № 2 та створом № 3 поза межами прояву самоочищення виявилась тільки одна речовина – сульфати (рис. 5).

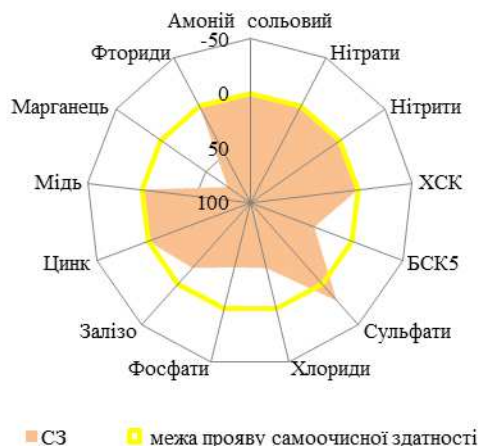


Рис. 5. Діаграма прояву самоочищення р. Устя після впливу комунально-побутових стічних вод (між ств. 2-3) у 2010 р.

У 2011 р., між створом № 1 та створом № 2 поза межами прояву самоочищення виявились нітрити (-70,0), сульфати (-2,96), фосфати (-275,00) та марганець (-485,71) (рис. 6).

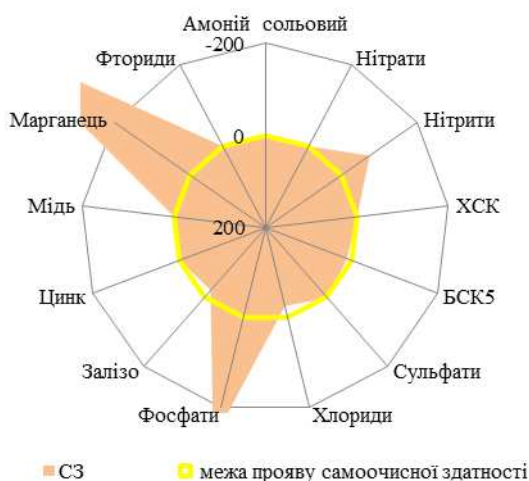


Рис. 6. Діаграма прояву самоочищення р. Устя після впливу комунально-побутових стічних вод (між ств. 1-2) у 2011 р.

У 2011 р., між створом № 2 та створом № 3 поза межами прояву самоочищення виявилися лише показник БСК₅ (-74,09) та вміст сульфатів (-3,63) (рис. 7).



Рис. 7. Діаграма прояву самоочищувальної здатності р. Устя після впливу комунально-побутових стічних вод (між ств. 2-3) у 2011 р.

У 2018 р., між створом № 1 (витік р. Устя) та створом № 2 (в межах м. Рівне, після скидів стічних вод «Рівнеоблводоканал») поза межами прояву самоочищення виявились нітрати (-1623,08), нітрити (-2133,33), та фосфати (-409,52) про що свідчать від'ємні значення розрахованих параметрів (рис. 8).

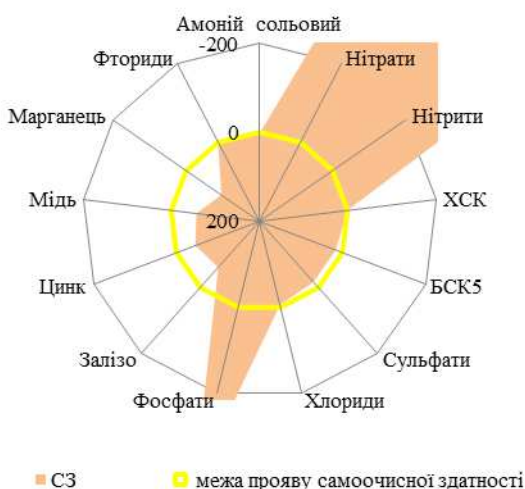


Рис. 8. Діаграма прояву самоочищувальної здатності р. Устя після впливу комунально-побутових стічних вод (між ств. 1-2) у 2018 р.

У 2018 р. між створом № 2 та створом № 3 поза межами прояву самоочищення виявились амоній сольовий (-418,18), нітрати (-150,0), нітрити (-401,49), БСК₅ (-9,23), хлориди (-46,10), фосфати (-264,49), цинк (-683,33), мідь (-66,67), та марганець (-350,00) про що свідчать від'ємні значення розрахованих параметрів (рис. 9).



Рис. 9. Діаграма прояву самоочищення р. Устя після впливу комунально-побутових стічних вод (між ств. 2-3) у 2018 р.

Для виявлення року з найбільш несприятливими умовами самоочищення досліджуваної річки, були розраховані стандартні статистичні параметри, що дозволило проаналізувати відповідні ряди даних за дев'ятьма математичними характеристиками (табл. 1, 2).

Так, між першим та другим створами, тобто в верхній та середній течії річки, мала місце суттєва відмінність показників СЗ, оцінена за середньоарифметичними та медіанними значеннями (табл. 1). Зокрема, в першому випадку можна стверджувати, що найгірші умови самоочищення відмічались за даними 2009 р. (MEAN=-2230,70), а в другому випадку за даними 2010 р. (MEDIAN=-289,83). За умови відкидання екстремумів, медіанна величина вважається більш об'єктивною та робастною, з точки зору центрування розподілу даних. Крім того, розраховане математичне очікування з заданою ймовірністю теж відображує найгірші умови самоочищення досліджуваної ріки за даними 2010 р. (25th%=-700,00; 75th%=-15,74).

Між другим та третім створами виявився незаперечний факт значного погіршення самоочищення річки за даними 2018 року (табл. 2).

Таблиця 1

Статистичний аналіз результатів оцінки СЗ р.Устя між першим та другим створом спостережень (2009-2018 рр.)

Статистичні параметри	рік спостережень			
	2009	2010	2011	2018
MEAN case 1-13	-2230,70	-417,52	-111,86	-351,43
MEDIAN case 1-13	-18,60	-289,83	-2,96	16,13
SD case 1-13	6675,51	602,52	196,09	775,46
VALID_N case 1-13	9,00	7,00	7,00	11,00
SUM case 1-13	-20076,2	-2922,64	-783,04	-3865,70
MIN case 1-13	-20031,58	-1650	-485,71	-2133,33
MAX case 1-13	79,04	72,22	25,07	95,65
_25th% case 1-13	-55,56	-700,00	-275,00	-409,52
_75th% case 1-13	-1,80	-15,74	19,63	57,14

Зокрема, як середньоарифметичне (MEAN=-215,06) так і медіанне значення (MEDIAN=-150,00) СЗ у цьому році мали найнижчі значення серед всіх проаналізованих років. Крім того, лише за даними 2018 р. математичне очікування значення СЗ із заданою ймовірністю мало від'ємні значення в обох випадках (25th%=-401,49; 75th%=-9,23).

Таблиця 2

Статистичний аналіз результатів оцінки СЗ р. Устя між другим та третім створом спостережень (2009-2018 рр.)

Статистичні параметри	рік спостережень			
	2009	2010	2011	2018
MEAN case 1-13	16,98	31,49	15,49	-215,06
MEDIAN case 1-13	22,64	37,635	19,06	-150,00
SD case 1-13	30,87	31,08	48,36	227,22
VALID_N case 1-13	9,00	6,00	7,00	11,00
SUM case 1-13	152,79	188,94	108,42	-2365,63
MIN case 1-13	-29,91	-20,22	-74,09	-683,33
MAX case 1-13	57,14	75,00	73,17	20,63
_25th% case 1-13	-11,11	20,00	-3,63	-401,49
_75th% case 1-13	43,53	38,89	56,67	-9,23

Медіанні значення величин СЗ р. Устя за окремими величинами

дозволяють відзначити, що на ділянці річки між першим та другим створами не відбувається позбавлення поверхневих вод речовин азотної групи, фосфатів, марганцю та органічних речовин за показником БСК₅ (рис. 10).

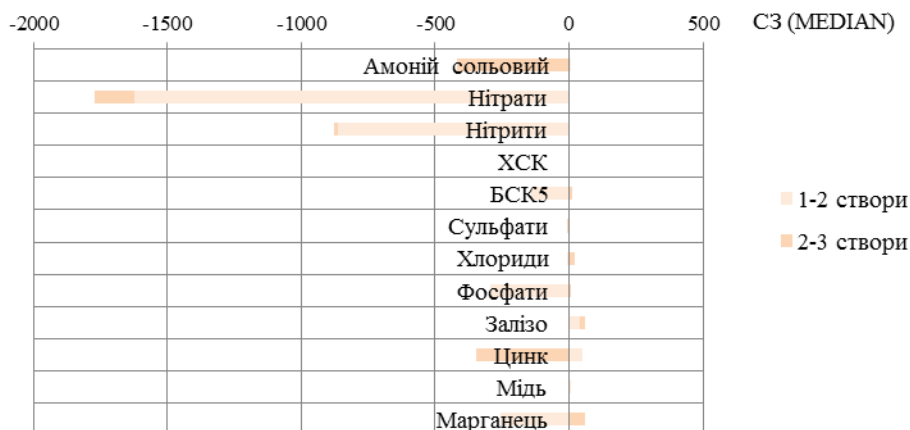


Рис. 10. Медіанні значення показника самоочисної здатності річки від окремих речовин впродовж 2009-2018 рр.

Між другим та третім створами теж відмічається відсутність прояву самоочисної здатності річки від амонію сольового, нітратів і нітритів. І хоча на цій ділянці річка позбавляється надмірної кількості забруднюючих органічних речовин, натомість з'являється факт забруднення цинком.

Однозначно можна стверджувати, що вздовж усього русла річки присутня значна кількість речовин азотної групи, а самостійне позбавлення від них річки лишається неможливим впродовж багатьох років. Відомо, що збагачення води сполуками азоту та іншими біогенними елементами призводить до евтрофікації водних об'єктів. Негатив цього явища проявляється у масовому розвитку фітопланктонних угруповань та порушенні співвідношення інших елементів із наступним погіршенням якості води [1; 5; 8]. Поряд з цим, вагомезначення мають морфометричні показники водойми, температура води, швидкість водообміну, наявність стратифікації, вміст розчиненого у воді кисню тощо [4; 6]. Однак, виявлений нами факт порушення СЗ р. Устя від фосфатів (між першим і другим створами) додатково підтверджує фактевтрофованості річки, адже одночасна присутність у воді сполук азоту і фосфатів прискорює виникнення евтрофікації та посилює прояв її негативної дії.

Таким чином, представлені результати аналізу динаміки само-

очисної здатності річки Устя дозволяють узагальнити наступне:

- найгірші умови загального самоочищення в верхній та середній течії відмічались за даними 2010 р., а в нижній течії за даними 2018 р.;

- вздовж всього русла відмічається позбавлення річки до самоочищення від азоту амонійного, азоту нітритного та нітратного;

- забруднення органічними речовинами (за БСК₅) та фосфатами проявляється в верхній ділянці, а в нижній поверхневій воді річки не очищуються від цинку;

- найбільш несприятлива (загрозлива) екологічна ситуація має місце на ділянці річки до виходу з м. Рівне, тобто в верхній та середній течії, що потребує запровадження цілеспрямованої програми робіт для виявлення всіх джерел забруднень та запобігання їх негативної дії.

1. Романенко В. Д. Основы гидроэкологии. К. : Генеза, 2004. 664 с. 2. Горев Л. Н., Никаноров А. М., Пелешенко В. И. Региональная гидрохимия. К. : Выща школа, 1989. 276 с. 3. Аксенов С. И. Вода и ее роль в регуляции биологических процес сов. М. : Наука, 1990. 117 с. 4. Клименко М. О., Трушева С. С., Гроховська Ю. Р. Відновна гідроекологія порушених річкових та озерних систем (гідрохімія, гідробіологія, гідрологія, управління). Т. 3. Рівне : Волинські обереги, 2004. 211 с. 5. Гідроекологія : підручник / Клименко М. О., Пилипенко Ю. В., Гроховська Ю. Р. та ін. Херсон : ОЛДІ-ПЛЮС, 2015. 272 с. 6. David J., Chris J., Spray R. River rehabilitation for the delivery of multiple ecosystem services at the river network scale. *Journal of Environmental Management*. 2013. Vol. 126. P. 30–43. 7. Абдуллин М. Р., Миркин Б. М. О некоторых методах количественного описания сукцессий. *Экология*. 1999. № 6. С. 468–470. 8. Алимов А. Ф. Элементы теории функционирования водных экосистем. СПб. : Наука, 2000. 147 с. 9. Шитиков В. К., Розенберг Г. С., Зинченко Т. Д. Количественная гидроэкология: методы системной идентификации. Тольятти : ИЭВБ РАН, 2003. 463 с. 10. Никаноров А. М. Гидрохимия : учебник. 2-е изд. перераб. и доп. СПб. : Гидрометеоиздат, 2001. 444 с. 11. Вигдорович В. И., Цыганкова Л. Е. Экология. *Химические аспекты и проблемы*. Ч. 1. Тамбов : Изд-во ТГУ им. Г.Р. Державина, 1994. 148 с.

REFERENCES:

1. Romanenko V. D. Osnovy hidroekolohii. K. : Heneza, 2004. 664 s. 2. Horev L. N., Nykanorov A. M., Peleshenko V. I. Rehionalnaia hidrokhimiia. K. : Vyshcha shkola, 1989. 276 s. 3. Aksenov S. I. Voda i ee rol v rehuliatsii biolohicheskikh

protses sov. M. : Nauka, 1990. 117 s. **4.** Klymenko M. O., Trusheva S. S., Hrokhovska Yu. R. Vidnovna hidroekolohiia porushenykh richkovykh ta ozer-nykh system (hidrokhimiia, hidrobiolohiia, hidrolohiia, upravlinnia). T. 3. Rivne : Volynski oberehy, 2004. 211 s. **5.** Hidroekolohiia : pidruchnyk / Klymenko M. O., Pylypenko Yu. V., Hrokhovska Yu. R. ta in. Kherson : OLDI-PLluS, 2015. 272 s. **6.** David J., Chris J., Spray R. River rehabilitation for the delivery of multiple ecosystem services at the river network scale. *Journal of Environmental Management*. 2013. Vol. 126. P. 30–43. **7.** Abdullin M. R., Myrkyn B. M. O nekotorykh metodakh kolichestvennoho opisanii suktssessii. *Ekolohiia*. 1999. № 6. S. 468–470. **8.** Alymov A. F. Elementy teorii funktsionirovaniia vodnykh ekosistem. SPb. : Nauka, 2000. 147 s. **9.** Shitikov V. K., Rozenberh H. S., Zinchenko T. D. Kolichestvennaia hidroekolohiia: metody sistemnoi identifikatsii. Toliatty : YZVB RAN, 2003. 463 s. **10.** Nikanorov A. M. Hidrokhimiia : uchebnik. 2-e izd. pererab. i dop. SPb. : Hidrometioizdat, 2001. 444 s. **11.** Vihdorovich V. I., Tsyhankova L. E. Ekolohiia. Khimicheskie aspekty i problemy. Ch. 1. Tambov : Izd-vo THU im. H.R. Derzhavina, 1994. 148 s.

**Klymenko M. O., Doctor of Agricultural Science, Professor,
Biedunkova O. O., Doctor of Biological Science, Associate Professor,
Statnyk I. I., Candidate of Agricultural Sciences (Ph.D.), Associate
Professor** (National University of Water and Environmental Engineering,
Rivne)

DYNAMICS OF SELF-CLEANING ABILITY OF THE USTYA RIVER SURFACE WATERS

The results of analysis of self-cleaning ability of surface waters of the small river Ustya are presented. It was revealed that during 2009–2018 along the entire river bed, the river is not deprived of self-cleaning of nitrogen compounds. In the upper and middle streams, the conditions for the deterioration of surface water from phosphates and organic matter, and in the lower stream from zinc, become more complicated. It was found that the worst conditions for self-cleaning in the upper and middle reaches of the river were in 2010, and in the lower one in 2018. The conclusion was made on the necessity of introducing a program of work to eliminate sources of pollution of the river.

Keywords: self-cleaning ability, indicators, polluting substances.

Клименко Н. А., д.с.-х.н., профессор, Бедункова О. А., д.б.н., доцент, Статник И. И., к.с.-х.н., доцент (Национальный университет водного хозяйства и природопользования, г. Ровно)

ДИНАМИКА САМООЧИЩАЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД РЕКИ УСТЬА

Приведены результаты анализа самоочищающей способности поверхностных вод малой р. Устья. Выявлено, что в течение 2009-2018 гг. вдоль всего русла река была лишена возможности самоочищения от соединений азота. В верхнем и среднем течении усложняются условия избавления поверхностных вод от фосфатов и органических веществ, а в нижнем течении – от цинка. Выяснено, что худшие условия самоочищения в верхнем и среднем течении река имела в 2010 г., а в нижнем – в 2018. Сделано заключение о необходимости введения программы работ по устранению источников загрязнения реки.

Ключевые слова: самоочищающаяся способность, показатели, загрязняющие вещества.
